

# 東海層群の地質特性と表層崩壊の関連性

## —中央自動車道切土のり面のリスク評価と予防保全への取り組み—

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 ○西上大二郎  
 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 正会員 山崎 充  
 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 岡戸宏徳  
 中日本高速道路株式会社 正会員 上野慎也  
 株式会社アイコ 正会員 小島淳一

### 1. はじめに

NEXCO 中日本名古屋支社（以下、NEXCO 名古屋支社）が管理する中央自動車道 伊北 IC～小牧 JCT 間（約 148km）は供用開始から約 50 年が経過する。近年、200mm を超える大雨の日数が増える傾向にある中で、同区間において、2020 年、2021 年、2023 年に 5 箇所の切土のり面の崩壊が発生した。膨大な管理延長を有する高速道路の切土のり面の崩壊発生リスクを低減し、予防保全を実現するためには、過去の災害履歴や分布地質の特性を分析しながら、効率的かつ効果的に対策を講じていくことが求められる。筆者らは、中央自動車道の切土のり面における崩壊事象に対して、過去の災害事例、分布地質の状況、のり面の保護工、変状・湧水の状況などの分析に基づく切土のり面のリスク評価と防災機能強化（予防保全）を目的とした取り組みをととして、同路線に分布する東海層群が最も高いリスクを有することを明らかにしてきた<sup>1) 2)</sup>。

本稿は、中央自動車道の切土のり面に分布する東海層群の礫構成などの地質特性と崩壊発生履歴、のり面保護工、簡易動的コーン貫入試験（ $N_d$  値）の関係を比較し、風化や緩みの進行と崩壊リスクの関連性について述べるとともに、効率的な対策実施のために策定したリスク評価の妥当性について検討した結果を報告するものある。

### 2. 中央自動車道における切土のり面の災害発生状況

図-1 に 2020 年、2021 年、2023 年に発生した 5 箇所の切土のり面の崩壊発生箇所の位置図を、表-1 に伊北 IC～小牧 JCT 間における 5 箇所の崩壊箇所を含めた建設段階から現在までの区間別の切土のり面災害発生件数を示す。同区間では 1972 年以降、降雨に伴う切土のり面災害が計 91 件記録されている。区間別にみると、伊北 IC～園原 IC 間（70.3km）では 7 件であるのに対し、園原 IC～小牧 JCT 間（77.7km）では 84 件と、全体の約 92%が集中しており、これら 84 件はいずれも東海層群が分布する区間で発生している。図-2 に分布地質ごとの災害発生件数を示す。分布地質別では、91 件中 42 件が東海層群で発生しており、直近の 2020～2023 年に発生した 5 箇所についても全て東海層群分布箇所に該当する。さらに、図-3 に示す地質区分別の切土の



図-1 名古屋支社管理路線と近年のり面災害

表-1 区間別の切土のり面災害発生状況

JCT・IC間	距離 (km)	災害 (件)	割合 (%)	地質状況	地域別 (件)	割合 (%)
伊北IC～伊那IC	9.6	0	0.0	東海層群 未分布地域	7	7.7
伊那IC～駒ヶ根IC	15.1	3	3.3			
駒ヶ根IC～松川IC	15.3	0	0.0			
松川IC～飯田IC	15.5	2	2.2			
飯田IC～飯田山本IC	5.2	0	0.0			
飯田山本IC～園原IC	9.6	2	2.2	東海層群 分布地域	84	92.3
園原IC～中津川IC	22.0	27	29.7			
中津川IC～恵那IC	9.4	9	9.9			
恵那IC～瑞浪IC	18.1	13	14.3			
瑞浪IC～土岐IC	4.5	4	4.4			
土岐IC～土岐JCT	2.5	1	1.1			
土岐JCT～多治見IC	6.3	9	9.9			
多治見IC～小牧東IC	8.1	19	20.9			
小牧東IC～小牧JCT	6.8	2	2.2			
合計	148.0	148.0	91			

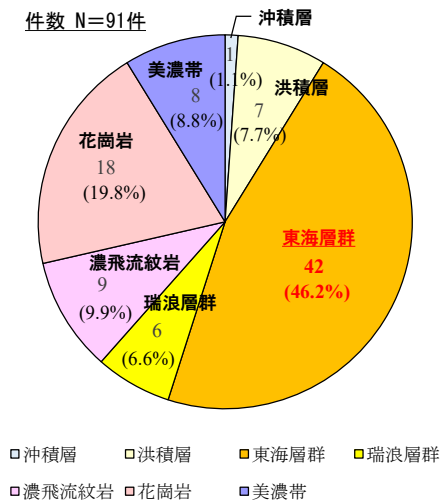


図-2 地質別の災害発生件数

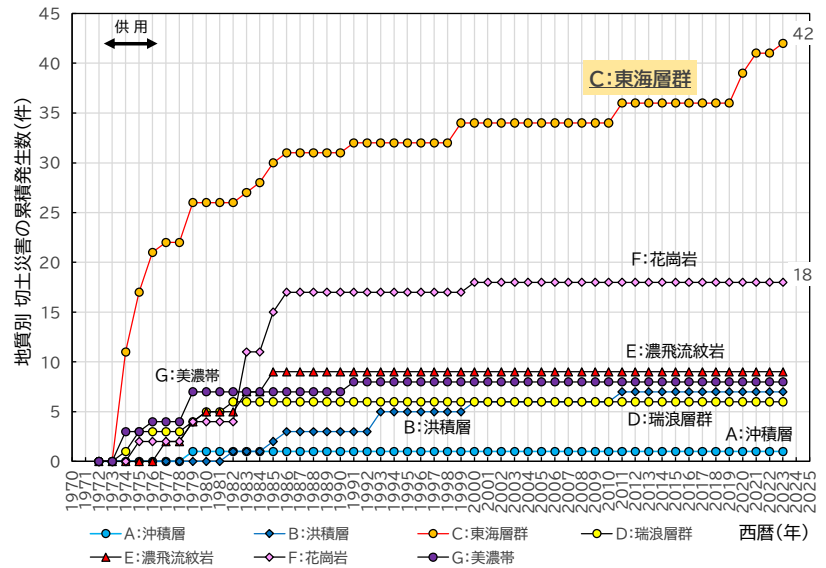


図-3 地質区分別の切土のり面災害発生件数累積図

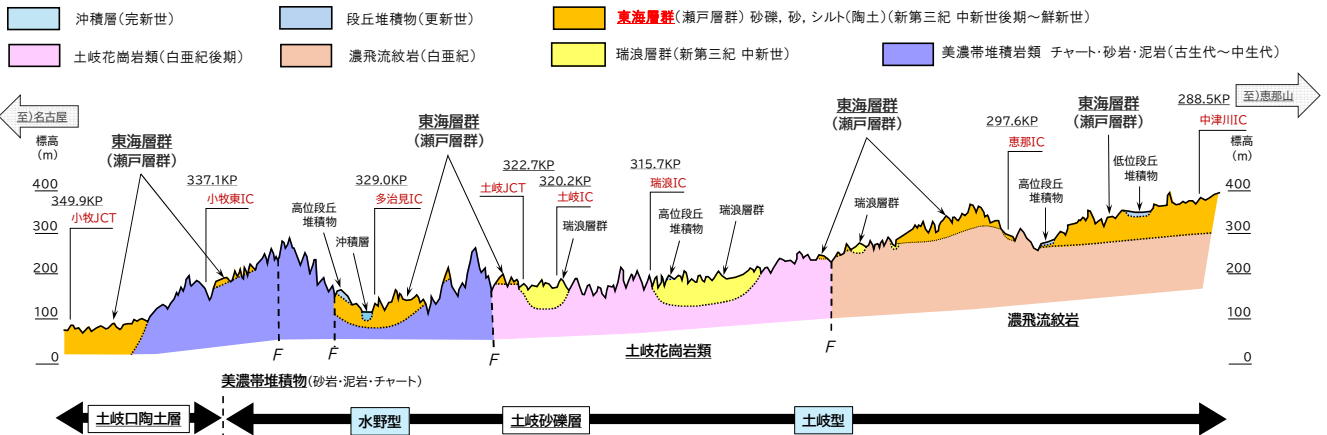


図-4 園原 IC～小牧 JCT 間地質縦断模式図

り面災害発生件数累積図からは、東海層群が他の地質区分と比較して累積件数が多いだけでなく、近年においても増加傾向が継続していることが確認できる。このことから、切土のり面に分布する東海層群は、建設段階のみならず、供用後の時間経過を経た現在においても崩壊発生リスクを有する地質であると考えられる。

### 3. 東海層群の切土のり面の崩壊特性と崩壊発生要因の分析

#### 3.1 東海層群について

東海層群の切土のり面の崩壊特性と発生要因の分析にあたって、まず東海層群について述べておく。図-4に中央自動車道 園原 IC～小牧 JCT 間の地質縦断図を示す。同区間は、美濃帯堆積岩類、濃飛流紋岩、花崗岩類を基盤とし、それらを新第三紀中新世の瑞浪層群、中新世後期～鮮新世の東海層群、洪積層、沖積層が不整合に覆う地質構造となっている。崩壊発生リスクの高い東海層群は、約 650 万年前～120 万年前、東海湖に堆積した半固結から未固結の堆積物である<sup>3) 4)</sup>。同区間に分布する東海層群は瀬戸層群とも呼ばれ、土岐口陶土層と土岐砂礫層からなり、土岐砂礫層は、濃飛流紋岩の礫を主体とする土岐型と、美濃帯起源のチャートなどの礫を主体とする水野型に分けられる<sup>4)</sup>。土岐型の濃飛流紋岩の礫は、容易に崩れるほど風化した、いわゆるクサリ礫として含まれることがある。東海層群は、半固結から未固結の堆積物で、切土のり面の長期間の暴露により風化や緩みが進行しやすい。また、含まれる礫構成によって、風化や緩みの進行度合い、崩壊リスクに差が生じることが考えられる。

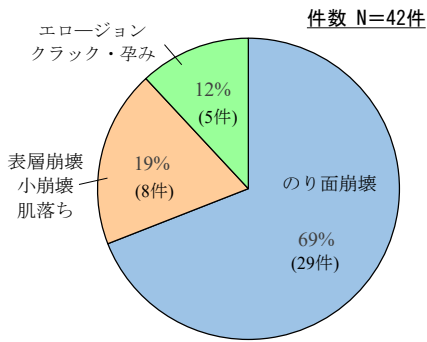


図-5 東海層群の災害事象割合

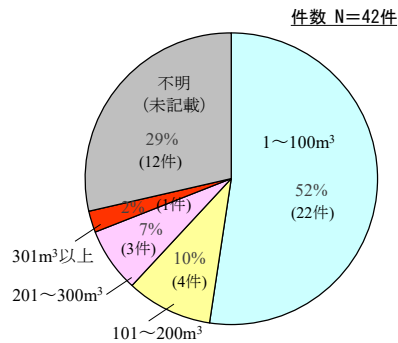


図-6 東海層群の崩壊規模

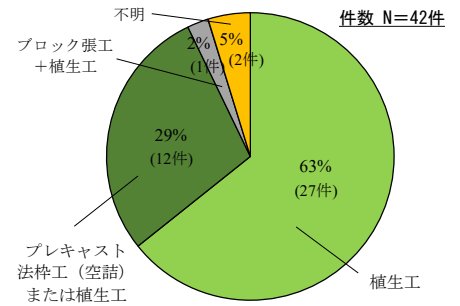


図-7 のり面保護工種別の災害発生件数



図-8 災害履歴のある東海層群切土のり面で確認される変状の例

### 3.2 東海層群の切土のり面の崩壊発生要因の分析

図-5 に東海層群の切土のり面で生じた災害発生事象の割合を、図-6 に東海層群の崩壊規模を、図-7 にのり面保護の工種別の災害発生件数を示す。42 件のうち、崩壊・表層崩壊・小崩壊・肌落ちといった、いわゆる表層崩壊が 88% (37 件) を占め、残る 12% (5 件) はエロージョン、クラック、孕みなどの土砂流出や変状の記録であった (図-5)。崩壊規模は 100m³ 未満が 52% (22 件) で、不明の 29% (12 件) を除く 71% (30 件) の全てが 300m³ 以下であり (図-6)、東海層群では小規模な表層崩壊が発生しやすいことが分かる。また、のり面保護の工種別の災害発生状況では、東海層群の崩壊事象は植生工およびプレキャスト法枠工 (空詰) といった開放型の保護工で発生しており、プレキャスト法枠工 (練詰)、フトン籠工、吹付け法枠工、切土補強土工、吹付工などの対策が施された東海層群の切土のり面 (部分) では災害は確認されていなかった (図-7)。これらのことから、開放型のり面において小規模な崩壊が発生するリスクがあるといえる。過去に表層崩壊が発生した開放型の切土では、のり面内において図-8 に示すような湧水や孕み、のり面の浮き・痩せ、洗堀跡のような浸食が確認される。このような変状は、風化や緩みの進行に伴うものと考えられる。

切土のり面に分布する新第三紀の堆積岩などでは、長期的な暴露によって風化の進行が徐々に進み、表層地盤の強度低下によって安定性が損なわれることが多賀ら<sup>5)</sup>、菊池ら<sup>6)</sup>、藤原ら<sup>7)</sup>、永田ら<sup>8)</sup>によって明らかにされている。中央自動車道の切土のり面に分布する東海層群についてもその地質的な特性から、表層の風化や緩みの進行による強度低下、降雨時の地下水位上昇や湧水増加といった影響を受けて不安定化しやすく、長期的な暴露に対しても崩壊リスクが高まっていく可能性があると考えられる。

### 4. 東海層群の切土のり面のリスク評価

伊北 IC~小牧 JCT 間には切土のり面が 296 箇所存在している。前章までに示したとおり、のり面災害の多くは園原 IC~小牧 JCT 間に集中しており、特に東海層群が分布する箇所においては、供用後の時間経過に伴っても災害発生リスクが継続する傾向が確認された。このため、本検討では、伊北 IC~小牧 JCT 間に存在する切土のり面のうち、東海層群が分布する園原 IC~小牧 JCT 間の 98 箇所を抽出し、これらを重点的な検討対象とした。

以上を踏まえ、東海層群切土のり面における予防保全の対象抽出および対策実施の優先順位付けを行うため、以下の 7 項目からなるリスク評価フローを策定した。図-9 に、東海層群切土のり面 (98 箇所) を対象と

したリスク評価フローを示す。

- (1) 湧水・浸食・変状の有無
- (2) 本線への影響の有無
- (3) 崩壊または崩壊に繋がる変状の有無
- (4) 既設対策工の有無と範囲
- (5) 湧水・孕み・浮き・痩せ・浸食等の有無
- (6) 湧水箇所における保護工等の状況
- (7) 過去の崩壊履歴の有無

評価結果は、対策工の実施（直ちに対策）／優先順位-1（類似リスクが高く優先）／優先順位-2（過去の崩壊履歴に基づき優先）／優先順位-3（将来検討）／通常管理（リスクが低く点検のみを実施）の5段階に区分した。98箇所の判定は、対策工の実施5箇所、優先順位-1が14箇所、優先順位-2が3箇所、優先順位-3が14箇所、通常管理が62箇所となった。

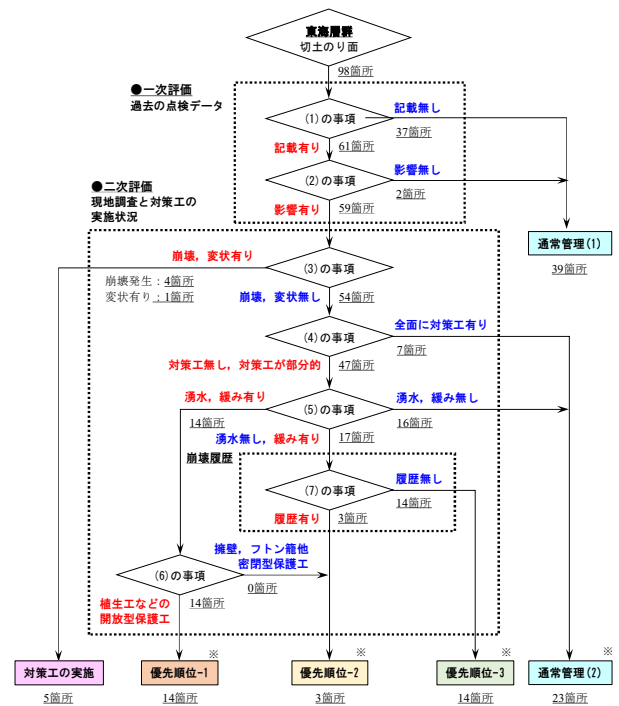


図-9 東海層群切土のり面のリスク評価フロー

## 5. 対策工の実施方針と評価フローの検証

### 5.1 対策工選定の基本方針

東海層群の切土のり面では、半固結～未固結な堆積物であることから、供用後の長期暴露に伴う風化や緩みの進行が支配的な不安定要因となると考えられる。このため、対策工法は、表層部の風化・緩みの進行抑制および降雨時の地下水上昇の抑制を主目的とし、これまで崩壊事象が発生していない吹付け法砕工、切土補強土工、吹付工、フトンかご工（鋼製かご砕工）から選定することを基本とし、湧水が確認される箇所については水抜きボーリングを併用する方針とした。

### 5.2 評価フローと対策工の対応関係

4章で示したリスク評価フローは、切土のり面を「対策工の実施」「優先順位-1～3」「通常管理」の5段階に区分するものであり、この区分を対策工検討の初期判断として位置付けた。「対策工の実施」および「優先順位-1, 2」に区分された箇所については、崩壊または崩壊に繋がる変状が顕在化、あるいは顕在化する可能性が高いと判断し、対策工を実施することを前提とした。一方、「優先順位-3」および「通常管理」に区分された箇所については、直ちに対策を要する段階には至っていないと判断し、将来的な検討対象または経過観察として整理した。

### 5.3 評価フロー検証の考え方

これまで述べてきた評価フローは、主として点検結果や過去の履歴に基づく机上評価であるため、地質的な裏付けを十分に反映しているとは言い切れない。そこで、本検討では、評価フローによる区分結果の妥当性を検証するため、5段階の区分を簡易動的コーン貫入試験による  $N_d$  値の分布深度、東海層群の礫構成および崩壊発生履歴との比較分析を行った。以下に比較分析結果について述べる。

## 6. 崩壊深度と $N_d$ 値の関係

園原 IC～小牧 JCT 間で 2020 年～2023 年にかけて発生した 5 箇所の切土のり面崩壊は、いずれも深さ 1.0～2.0m、規模 20～100m<sup>3</sup> 程度の表層崩壊であった。東海層群における風化や緩みの進行状況を把握するため、

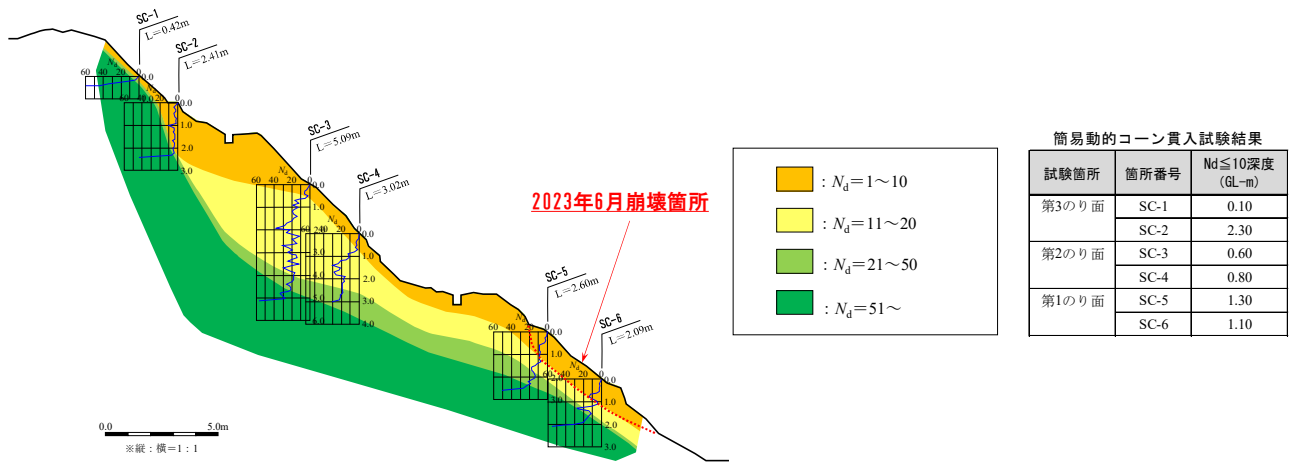


図-10 2023年6月崩壊箇所の  $N_d$  分布断面図

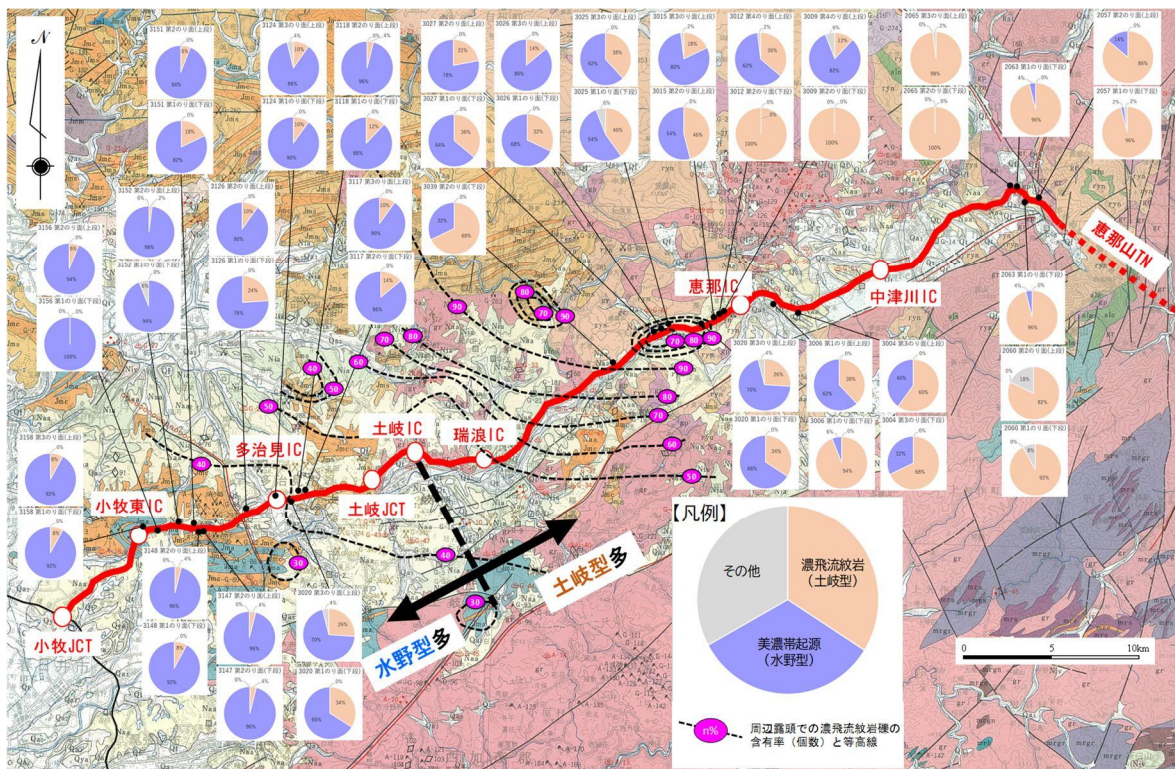


図-11 広域地質図と採取試料に含まれる礫種の個数割合

これら5箇所の崩壊地点の近傍で簡易動的コーン貫入試験を実施し、 $N_d$ 値の分布を調査した。その結果、5箇所の崩壊はいずれも図-10に示すように、おおむね  $N_d \leq 10$  の深度で発生していたことが明らかになった。小山らの簡易貫入試験を用いた崩壊の恐れのある層厚推定に関する研究<sup>9)</sup>では、崩壊が発生した全国の16箇所の斜面におけるSH型簡易貫入試験結果ならびに既往研究成果から、崩壊のすべり面深度付近の  $N_c$  値（簡易動的コーン貫入試験（5kgの重錘の貫入量10cm当たりの落下回数= $N_d$ 値と同様）について、表層崩壊のすべり面の  $N_c$  値 ( $N_d$  値) は、5~20の範囲であることがほとんどで、10程度のことが多いことが述べられている。東海層群における簡易動的コーン貫入試験は、これらと調和的な結果であった。

5段階のリスク評価区分と  $N_d \leq 10$  分布深度の関係を把握するため、優先順位-1から通常管理の計54箇所（図-9※箇所計）ののり面を対象として、簡易動的コーン貫入試験を実施し、 $N_d \leq 10$  を崩壊の恐れのある深度の目安として各のり面の評価を行った。簡易動的コーン貫入試験は、最大切土高さとなる断面や、湧水・孕み出しが認められる断面を中心に配置し、1段につき2箇所を実施した。また、同一地点で深さ約50cmまでの試料を採取し、密度・含水比・粒度等の室内試験に加えて、礫の岩種および個数割合の調査を行った。

## 7. 東海層群の礫組成と室内試験結果

各調査地点で採取した試料に含まれる礫種の割合を整理した結果を図-11に示す。図-11は、当該区間の広域地質図<sup>10)</sup>に、森山ら<sup>11)</sup>による周辺露頭での濃飛流紋岩礫の含有率（個数）の等高線を重ねたものに、本検討で採取した試料に含まれる礫の個数を濃飛流紋岩礫（土岐型）、美濃帯起源礫（水野型）およびその他礫の割合で整理した円グラフを図示している。円グラフの分布状況から、土岐IC付近より東側では土岐型（濃飛流紋岩礫を主体）が卓越し、中津川ICから恵那山TN西坑口にかけては、濃飛流紋岩礫の個数割合が80～100%になる。一方、西側では水野型（美濃帯起源礫を主体）が卓越し、土岐ICから小牧東ICにかけて美濃帯起源礫が60～100%になることが明らかになった。この結果は、東海層群の堆積物が供給源の位置関係に応じて土岐型と水野型に区分される森山ら<sup>11)</sup>の知見を裏付けるものとなった。

図-12に簡易動的コーン貫入試験箇所での採取した試料の各のり面の位置と自然含水比の関係を、図-13に採取位置と礫分含有率の関係を示す。図-12の自然含水比をみると、土岐型は15～20%を中心に幅広く分布するのに対して、水野型は10%を中心に狭い範囲に分布することが分かる。また、図-13の礫分含有率では、土岐型が0～90%まで幅広い粒度分布を示すのに対して、水野型は50%を中心に30～70%と分布が狭く粒度が揃っているという特性があることが明らかになった。

次に、このような東海層群の土岐型が、広い粒度分布を示す特性と、土岐型と水野型の風化に対する安定性を評価するため、礫種の異なる代表試料（土岐型に含まれる濃飛流紋岩および水野型に含まれる美濃帯起源礫〔チャート〕）を対象に、硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験<sup>12)</sup>を行った。その結果、図-14に示すように、水野型に多く含まれる美濃帯のチャートでは損失が小さいのに対して、土岐型に多く含まれる濃飛流紋岩は試験後に大きな損失が生じ、風化に対する安定性が低いことが確認された。土岐型の東海層群には濃飛流紋岩のクサリ礫が含まれることがあるが、風化の進んだ濃飛流紋岩が含まれることによって幅広い粒度分布を示すものと考えられる。

図-15に礫に占める濃飛流紋岩の割合と簡易動的コーン貫入試験に基づく $N_d \leq 10$ の分布深度の関係を、図-16に美濃帯起源礫の割合と $N_d \leq 10$ の分布深度の関係を示す。両図には、湧水がみられる箇所を青色の丸で、過去に災害履歴のある箇所を赤枠の丸で示した。図-15をみると、濃飛流紋岩礫の割合が多いほど $N_d \leq 10$ の深度が幅広く深くなり、湧水あり、災害履歴ありの箇所が多くなること分かる。これに対して図-16では、美濃帯起源礫の割合が変化しても $N_d \leq 10$ の深度は変化しないこと分かる。 $N_d \leq 10$ の深度は、東海層群に含まれる濃飛流紋岩の割合が多いほど、その深度が深くなり、湧水や崩壊履歴も多いことが明らかになった。

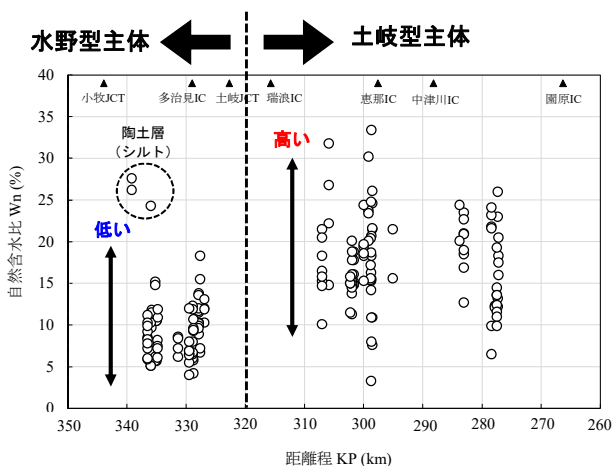


図-12 試料採取位置と自然含水比の関係

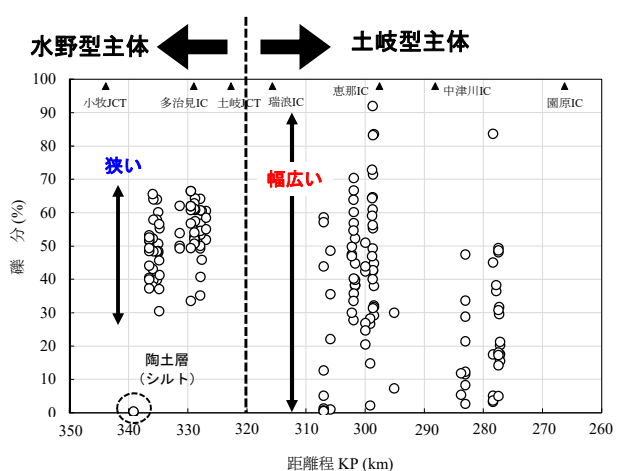


図-13 試料採取位置と礫分含有率の関係

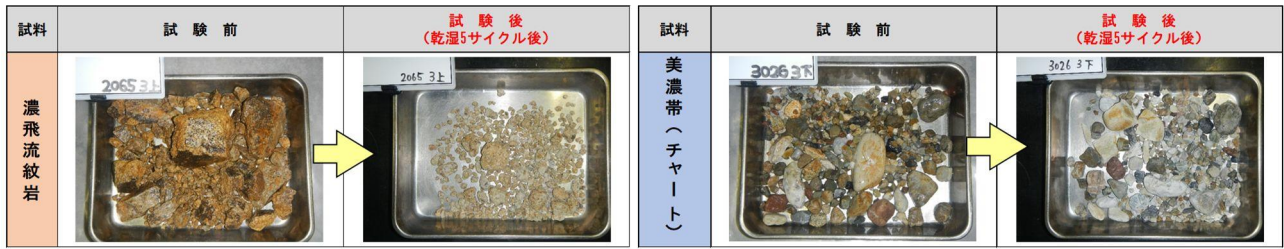


図-14 安定化試験に供した試料採取前後の写真

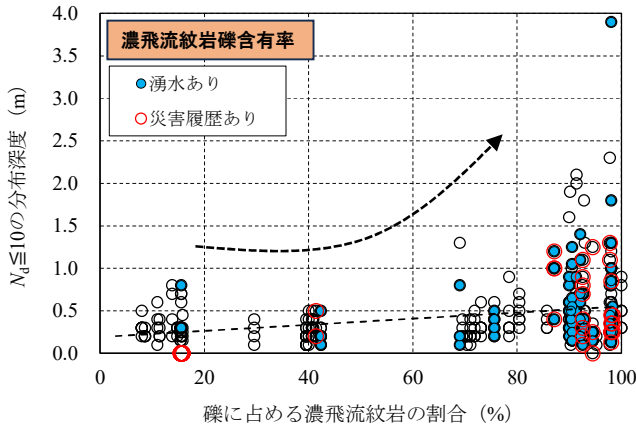


図-15 濃飛流紋岩礫の割合と  $N_d \leq 10$  深度の関係

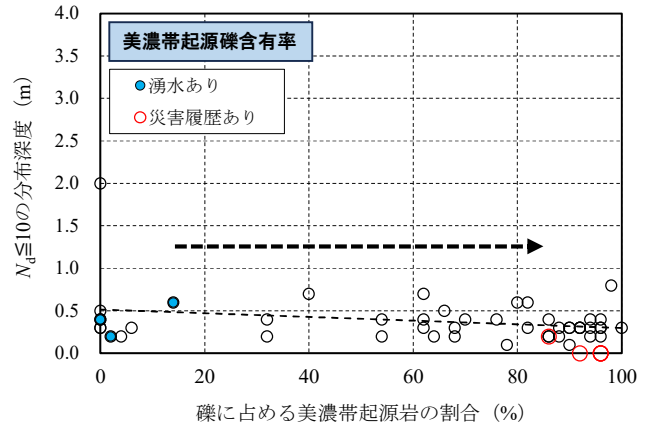


図-16 美濃帯起源礫の割合と  $N_d \leq 10$  深度の関係

表-2 IC・JCT間の表層崩壊件数と評価結果

IC・JCT間	表層崩壊件数	東海層群	リスク評価				
			対策実施	優先-1	優先-2	優先-3	通常管理
園原IC～中津川IC	8	濃飛流紋岩	4	7	0	1	3
中津川IC～恵那IC	9		0	2	0	0	3
恵那IC～瑞浪IC	2		1	3	3	3	9
瑞浪IC～土岐IC	0		0	0	0	0	0
土岐IC～土岐JCT	0	美濃帯型	0	0	0	0	0
土岐JCT～多治見IC	4		0	1	0	3	5
多治見IC～小牧東IC	6		0	1	0	7	2
小牧東IC～小牧JCT	2		0	0	0	0	1
合計	31		-	5	14	3	14

### 8. 東海層群の崩壊節制要因とリスク評価の妥当性

これまでの結果を踏まえ、リスク評価フローの妥当性を検証するため、 $N_d$  値の深度分布に基づく評価結果を整理した。図-17 にリスク評価フローにより「対策工実施」「優先順位-2」「通常管理」に区分された箇所での代表的な  $N_d$  値の深度分布を示す。2020年～2023年にかけて発生した5箇所の崩壊事例はいずれも  $N_d \leq 10$  の深度で発生しており、この深度が崩壊の恐れのある目安と言える。その上で、各評価区分の代表的な分布深度を比較すると、「対策工の実施」に区分された箇所では  $N_d \leq 10$  の深度帯が深く分布し、リスクが高い傾向が認められた。一方、「優先順位-2」や「通常管理」に区分される箇所では、 $N_d \leq 10$  の範囲は相対的に浅く、限定的であった。「優先順位-1」および「優先順位-3」に区分された箇所を含め、ここに図示していない断面においても同様の結果が確認されており、リスクが高いと評価されたのり面ほど  $N_d \leq 10$  の分布深度が深いという関係が概ね一貫して認められた。

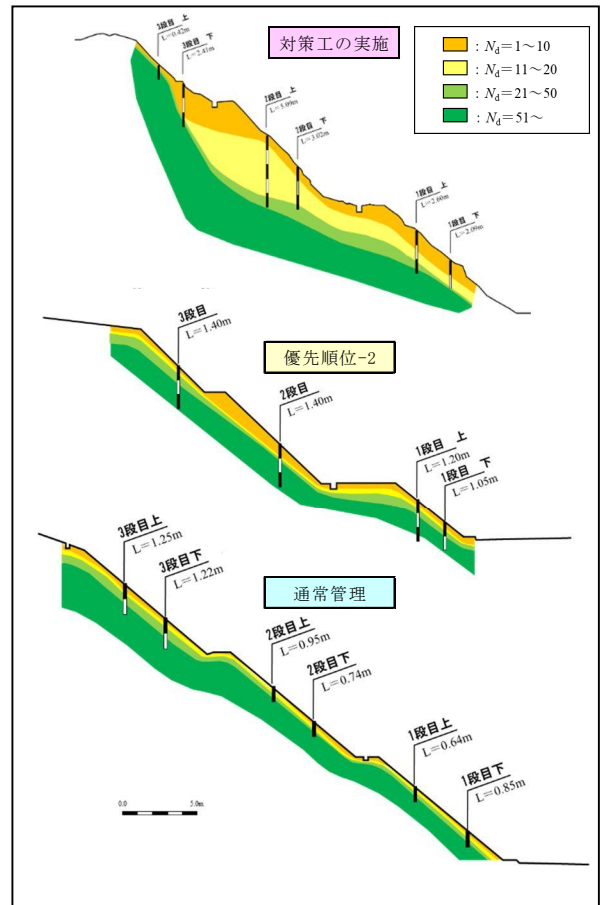


図-17 代表的な  $N_d$  値深度分布図

次に、IC・JCT 区間別のリスク評価結果を見てみる。表-2 に図-9 で二次評価を行った 59 箇所の切土のり面の IC・JCT 間ごとの表層崩壊件数とリスク評価結果を示す。土岐型の東海層群が分布する園原 IC～土岐 IC 間では、評価区分「対策工の実施」に加え「優先順位-1」と評価される切土の割合が多く、水野型が分布する土岐 IC～小牧 JCT 間では、「優先順位-3」または「通常管理」と評価される割合が多い結果となった。東海層群の土岐型は濃飛流紋岩を多く含むことで、水野型より風化や緩みの深度が深く、崩壊リスクが高いことと調和的であり、策定した評価フローはおおむね妥当と判断される結果が得られた。

## 9. まとめ

本研究では、東海層群が分布する切土のり面を対象に、過去の崩壊履歴、礫組成、風化特性および  $N_d$  値の分布に基づき、のり面安定性評価とリスク評価フローの妥当性を検討した。その結果、東海層群に含まれる礫種の違いにより、 $N_d \leq 10$  の分布深度や風化・緩みの進行状況に明瞭な差が認められ、濃飛流紋岩起源礫を多く含む区間では、崩壊リスクが相対的に高い傾向が確認された。また、これらの地質特性はリスク評価フローによる判定結果と整合しており、本研究で構築した評価の考え方は概ね妥当であると判断された。

中央自動車道では現在、本評価結果に基づきながら防災機能の強化（予防保全）を目的とした切土のり面の対策工の施工を進めているところである。また、通常管理としたのり面では、風化や緩みの進行の有無を確認するために簡易動的コーン貫入試験による継続的な追跡調査を行っている。これらの結果から、切土のり面の長期的な変状傾向を把握し、効率的かつ効果的な対策工の実現とさらなる安全性向上を目指したい。

## 参考文献

- 1) 岡戸宏徳, 西上大二郎, 山崎充, 後藤史奈, 任静怡, 嶋明宏, 上野慎也, 村中貴大, 小島淳一 (2025): 崩壊要因分析に基づく中央自動車道切土のり面のリスク評価と予防保全への取り組み, 第 36 回日本道路会議講演要旨集.
- 2) 西上大二郎, 岡戸宏徳, 山崎充, 後藤史奈, 任静怡, 嶋明宏, 上野慎也, 村中貴大, 小島淳一 (2025): 切土のり面に分布する東海層群の礫構成と崩壊リスクの関係, 第 36 回日本道路会議講演要旨集.
- 3) 共立出版株式会社, 日本の地質「中部地方 II」編集委員会編 (1988): 日本の地質図 5 中部地方 II, pp.130-132.
- 4) 社団法人 土質工学会中部支部 (1988): 最新名古屋地盤図. pp.15-18.
- 5) 多賀直大, 田山聡, 奥園誠之, 八木沢孝哉 (1991): 長期追跡調査による切土のり面の風化の進行と安定性, 土と基礎, Vol.39, No.6, pp.41-47.
- 6) 菊池英明, 古川浩平, 河村浩恵, 奥園誠之, 田山聡 (1998): 長期追跡データを用いた切土のり面崩壊に与える風化の影響に関する一考察, 土木学会論文集, No.588/VI-38, pp.151-164.
- 7) 藤原優, 永田政司, 佐藤尚弘, 滝口潤 (2020): 長期追跡調査による切土法面の風化特性の評価, 地すべり学会誌, Vol.57, No.3, pp.1-11.
- 8) 永田政司, Sharmily BHOWMIK, 菊本統, 藤原優, 佐藤尚弘 (2022): 半世紀にわたる泥岩切土法面の風化過程とのり面安定への影響, 地盤工学ジャーナル, Vol.17, No.1, pp.73-89.
- 9) 小山内信智, 内田太郎, 曾我部匡敏, 寺田秀樹, 近藤浩一 (2005): 国土技術政策総合研究所資料 簡易貫入試験を用いた崩壊の恐れのある層厚推定に関する研究, ISSN 1346-7328, 国総研資料第 261, pp.19-26.
- 10) 中部地方土木地質図編纂委員会 (1992): 中部地方土木地質図 解説書 (平成 4 年 12 月).
- 11) 森山昭雄, 丹羽正則 (1985): 土岐面・藤岡面の対比と土岐面形成に関する諸問題, 地質学論評, 58 (Ser.A) -5, pp.275-294.
- 12) 佐藤健, 板橋一雄, 長谷川英明, 熊崎幾太郎, 若松雅佳, 平岩由夫 (1999): 粒度分析に基づくまさ土斜面の風化度判定, 土木学会論文集, No.631, III-48, pp.97-108.